



# LIGA 加工プロセスを利用した 小惑星探査機はやぶさ 2 試料台の開発

桜井郁也<sup>1</sup>、岡田育夫<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>名古屋大学

キーワード：LIGA 微細加工，X 線露光，はやぶさ衛星

## 1. 背景と研究目的

小惑星探査機「はやぶさ」が、小惑星「イトカワ」から採取した微小破片の分析結果からは、岩石の構成要素やイトカワの年齢、起源など様々な情報が得られた。「はやぶさ」の成功をうけ、2014 年末に打ち上げられた小惑星探査機「はやぶさ 2」は、小惑星「リュウグウ」で岩石試料の採取作業を行っており、2020 年末に地球に帰還予定である。小惑星の構成物質には水や有機物等が含まれていると考えられており、地球誕生の謎に加え、海の水の起源や生命の原材料となる有機物の起源を探る手掛かりになることが期待されている。得られた試料は、宇宙航空研究開発機構 (JAXA)、海洋研究開発機構 (JAMSTEC)、大型放射光施設 (Spring-8) 等の様々な研究機関の分析装置を使用して分析予定であるが、試料取り扱いの簡易化と共通の試料を用いて多角的な分析を行うため、各分析装置で共通に使用できるはやぶさ試料分析用試料台の開発を進めている。本実験は、試料台作成の効率化と形状精度向上を目的として X 線露光ステージに冷却システムを導入、X 線マスクと PMMA レジスト、基板に対する熱負荷による影響を抑える事で、LIGA プロセスで作成する微細加工部品の精度を向上させるための予備実験として行った。

## 2. 実験内容

LIGA プロセスは、基板上に薄く塗布して硬化させた PMMA レジストに対し、X 線を透過する部分と遮蔽する部分のパターンを刻んだ X 線マスクを通して X 線を露光する。PMMA レジストに入射した X 線は、レジスト内の分子鎖を切断し、有機溶媒を用いた現像作業で X 線の露光された部分のみ溶解しポジレジストの型として利用する事ができる。作成したレジスト型に、電鍍で金属を電析させ基盤を除去して分離する事で、微細で複雑な構造を持つ金属製の微細部品を作成できる。本研究では、LIGA プロセスを用いた試料台の作成のため、新しく開発した厚膜塗布用 PMMA レジストを使用し、200  $\mu\text{m}$  以上という通常よりも膜厚なレジストを利用する事で、LIGA による微細加工活用の可能性を広げてきた。

我々は、X 線露光に BL8S2 の特徴である白色露光を導入する事で露光にかかる作業時間を大きく減らすことに成功した。しかし、強力な白色 X 線の利用は、X 線マスクとレジストに対し、大きな熱負荷をかけている懸念があった。事実、厚膜レジストへの X 線露光時の問題として、露光を行った時に X 線露光部分のレジストが粉粒状に白く盛り上がる現象が見られており、製作する微細加工部品の精度に問題がでてくる可能性が考えられる。本実験では、露光用治具にチラーによる冷却システムを導入、露光用基盤と X 線マスクの温度管理を行いながら露光を行い X 線露光量とレジスト状態の検証を行った。

## 3. 実験結果

200  $\mu\text{m}$  以上の厚膜レジストの X 線露光を露光用基板の冷却を行わない室温状態とチラーの設定温度を 16 度と 8 度に設定した場合に対し、レジスト塗布基板と X 線マスクの温度をモニターしながら、X 線露光時間を 6 分から 12 分まで変えて行い、露光されたレジストの状態と現像後の状態の観察を行った。露光用チェンバーの内部は、0.5 気圧のヘリウム環境で実験を行っている。冷却を行わずに X 線露光を行った場合、X 線マスクと塗布基盤の温度は、露光開始から数分で 60 度程度まで急激に上昇している事が温度モニターの結果確認できた。

急激な温度上昇は、X線マスクとレジスト基板の熱膨張による歪み、レジストへの熱と膨張によるダメージが起きることが予想される。露光されたレジストの観察では、X線露光部分は、7分以上で白濁が始まり8分でレジストが粉粒状に盛り上がる現象が起きていた。現像を行った結果、レジスト型からレジストが残らずに融解するには8.5分以上の露光時間が必要であることも確認でき、レジスト型の作成に十分な露光量を得る前にレジストの粉粒状への変異が起きていることが確認できた。次に、チラーの設定温度を16度と8度にした場合でX線露光を行った。露光時間等の露光条件は冷却無しの場合と同じである。チラー設定温度16度では、露光前のX線マスクとレジスト基板の温度は19度で安定した。X線露光の結果、X線マスクとレジスト基板の温度は23度程度に収まるということが確認できた。レジストのX線露光部分は、8分程度で白濁が始まり、粉粒状現象は11分で起きていた。レジスト型作成に必要な露光量は8.5分と変化は無く、粉粒化によるレジスト型精度の悪化の影響を受けていないことが確認できた。チラーの設定温度を8度にした場合、X線マスクとレジスト基板の初期温度は12度、X線露光時にはX線マスクとレジスト基板の温度は18度程度で安定した。レジストのX線露光部分の白濁は9分程度から始まり、粉粒状は11分で起きていた。レジスト型の作成に必要な露光時間は8.5分と変化は無かったが、レジストの露光部分と非露光部分の境目のレジストの剥離により基板とレジストの間に隙間が確認される物があった。これはレジストと基板の冷却とX線露光による負荷でレジストの基板への密着性が落ち、剥離により隙間ができたのではないかと考えている。この事から冷却温度を下げすぎた状態でのX線露光は微細加工部品の精度に対し、悪影響を与える事が予想される。以上の結果から、冷却システムのチラー設定温度は、16度程度。露光時間は8.5分で露光を行うのが適切であると考えている。本実験では、上記実験条件ではやぶさ試料台作成のためX線露光を行いレジスト型の作成を行なった。



図1: 露光用チェンバー内に設置した露光用治具と冷却用治具。熱電対による温度モニターを行っている。

#### 4. まとめ

LIGAプロセスによる微細加工部品作成において重要な工程であるPMMAレジストに対するX線露光にX線マスクとレジスト基板への冷却システムの導入を行い、その効果の検証を行った。

- LIGAのX線露光プロセスに冷却システムを導入する事で、X線露光による厚膜レジストの粉粒状による盛り上がり現象は改善され、レジスト型の製作精度の向上が期待できる事が確認できた。
- X線露光時の冷却条件の検証を行い、適切な冷却システムのチラー設定温度の検証を行った。
- 200 $\mu$ m厚のレジストへの適正X線露光量（露光時間）の見積りを行った。
- 今回の実験で得られた露光条件を利用して、はやぶさ試料台作成のX線露光を行った。

以上の結果を基に、LIGAプロセスによる金属構造体やはやぶさ用試料台の作製プロセスの検証を行い、作成する金属構造体の高精度化や効率的な作成手順の構築を進めてゆく。